



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA LA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ, QUE PERMITA  
CARACTERIZAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE,  
EMPLEANDO LA SEÑAL DE LOS SENSORES DEL MOTOR EN  
LA RED CAN”**

**WILMER ELIAS CARRIÓN SALINAS**

**WALTER MOISÉS RAMÍREZ GUAITA**

# **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**Riobamba – Ecuador**

**2019**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

**2018-10-23**

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

**WILMER ELÍAS CARRIÓN SALINAS**

---

Titulado:

**“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA LA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ, QUE PERMITA  
CARACTERIZAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, EMPLEANDO LA  
SEÑAL DE LOS SENSORES DEL MOTOR EN LA RED CAN”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Paul Alejandro Montufar  
**DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

Msc. Javier José Gavilanes Carrión  
**MIEMBRO**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

**2018-10-23**

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

**WALTER MOISÉS RAMÍREZ GUAITA**

---

Titulado:

**“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA LA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ, QUE PERMITA  
CARACTERIZAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, EMPLEANDO LA  
SEÑAL DE LOS SENSORES DEL MOTOR EN LA RED CAN”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Paul Alejandro Montufar  
**DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

Msc. Javier José Gavilanes Carrión  
**MIEMBRO**

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** WILMER ELÍAS CARRIÓN SALINAS

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ, QUE PERMITA CARACTERIZAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, EMPLEANDO LA SEÑAL DE LOS SENSORES DEL MOTOR EN LA RED CAN”

**Fecha de Examinación:** 2019-02-08

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Paul Alejandro Montufar <b>DIRECTOR</b>			
Msc. Javier José Gavilanes Carrión <b>MIEMBRO</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. José Francisco Pérez Fiallos  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** WALTER MOISÉS RAMÍREZ GUAITA

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ, QUE PERMITA CARACTERIZAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, EMPLEANDO LA SEÑAL DE LOS SENSORES DEL MOTOR EN LA RED CAN”

**Fecha de Examinación:** 2019-02-08

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Paul Alejandro Montufar <b>DIRECTOR</b>			
Msc. Javier José Gavilanes Carrión <b>MIEMBRO</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. José Francisco Pérez Fiallos  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

© 2019, WILMER ELÍAS CARRIÓN SALINAS y WALTER MOISÉS RAMÍREZ GUAITA, egresados de la carrera de INGENIERÍA AUTOMOTRIZ de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, autores del trabajo de titulación denominado **“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ, QUE PERMITA CARACTERIZAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, EMPLEANDO LA SEÑAL DE LOS SENSORES DEL MOTOR EN LA RED CAN”**. Autorizamos la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Wilmer Elías Carrión Salinas**

Cédula de Identidad: 190058414-3

---

**Walter Moisés Ramírez Guaita**

Cédula de Identidad: 050396777-0

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Wilmer Elías Carrión Salinas y Walter Moisés Ramírez Guaita, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados. Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Wilmer Elías Carrión Salinas**

Cédula de Identidad: 190058414-3

---

**Walter Moisés Ramírez Guaita**

Cédula de Identidad: 050396777-0

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación dedico a Dios por darme la sabiduría de principio a fin para lograr este objetivo y de manera especial a mis padres que son los que desinteresadamente me han ayudado y su incalculable esfuerzo que me han brindado para alcanzar esta meta.

**Wilmer Elías Carrión Salinas**

El presente trabajo de titulación dedico, en primer lugar a Dios por darme fuerza, salud y la capacidad de aprender las enseñanzas de los docentes; en segundo lugar agradezco a mis padres y hermanos, que pese a la distancia siempre estaban para brindarme su apoyo, enseñarme buenos valores y guiarme por el buen camino.

A mi abuelo que ya no está en este mundo, que siempre estuvo a mi lado y que con su amabilidad, gracia y años de experiencia, supo aconsejarme y apoyarme en las buenas y en las malas.

**Walter Moisés Ramírez Guaita**



## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradezco a mis Padres por todo su sacrificio y esmero que me han sabido brindar de manera desinteresada y de manera especial a mis hermanos y amigos que han sido el apoyo perfecto para lograr este objetivo que es un escalón más en esta travesía y por su puesto a Dios quien fue, es y será el promotor de cada acción en mi vida.

**Wilmer Elías Carrión Salinas**

Mi más profundo y muy sincero agradecimiento a Dios y a todas las personas que han sido un apoyo constante para desarrollar el presente trabajo de titulación. Son varias las personas a las que les gustaría agradecerles por su apoyo, amistad, gratitud, ánimos y compañía que me brindaron en cada etapa de mi vida; algunas están aquí conmigo, otras en mis recuerdos y sin importar en donde se encuentren quiero darles mi agradecimiento por formar parte de mi vida y por todo lo que me supieron brindar.

Mi mayor gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y sus directivos, por permitir formarme en sus aulas, construir grandes lazos de amistad y adquirir el conocimiento de aquellas grandes personas que se desempeñaron como mis docentes.

**Walter Moisés Ramírez Guaita**

## TABLA DE CONTENIDO

### RESUMEN

### ABSTRACT

### INTRODUCCIÓN

	Pág.
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema. ....	2
1.3. Justificación. ....	2
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general.</i> ....	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos:</i> ....	4
1.5. Metodología.....	4
1.6. MARCO TEÓRICO. ....	5
1.6.1. <i>Protocolos de comunicación en vehículos</i> .....	5
1.6.2. <i>Redes de comunicación en vehículos</i> .....	5
1.6.3. <i>Interfaces y protocolos de comunicación.</i> ....	6
1.6.4. <i>Conectores de protocolos de comunicación implementados en el vehículo.</i> ....	8
1.6.5. <i>Normatividad de los protocolos de comunicación en los vehículos ligeros y pesados.</i> ....	8
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Marco metodológico. ....</b>	<b>11</b>

2.1.	Adquisición del Hardware y desarrollo del Software.....	11
2.1.1.	<i>Adquisición del equipo de National Instruments.....</i>	11
2.1.2	<i>Obtención de datos mediante el equipo de National Instruments. ....</i>	14
2.1.3	<i>Programación en LabVIEW. ....</i>	16
2.2.	Diseño e implementación del modelo de predicción de consumo de combustible.....	19
2.2.1.	<i>Lectura de señales. ....</i>	20
2.2.2.	<i>Modelado de ecuación de consumo de combustible. ....</i>	21
2.3.	Programación e interfaz del modelo de predicción para la eficiencia volumétrica.. ....	22
2.3.1.	<i>Diagrama de bloque. ....</i>	23
2.3.2.	<i>Algoritmo. ....</i>	23
2.4.	Modelado de la ecuación de avance de encendido. ....	24
2.4.1.	<i>Diagrama de bloque. ....</i>	24
2.4.2.	<i>Algoritmo. ....</i>	24
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>25</b>
<b>3.</b>	<b>Marco de resultados, discusión y análisis de resultados. ....</b>	<b>25</b>
3.1.	Relación entre consumo de combustible y el avance de encendido .....	25
3.1.1.	<i>Gráfica de matriz. ....</i>	25
3.1.2.	<i>Ecuación del modelo de predicción.....</i>	26
3.1.3.	<i>Análisis de resultados. ....</i>	26
3.2.	Relación entre la eficiencia volumétrica y las revoluciones del motor. ....	27
3.2.1.	<i>Grafica de matriz. ....</i>	27
3.2.2.	<i>Ecuación del modelo de predicción.....</i>	28
3.2.3.	<i>Análisis de resultados. ....</i>	29
3.3.	Modelo matemático de predicción del consumo de combustible.....	29

3.3.1.	<i>Gráfica de matriz.</i>	30
3.3.2.	<i>Análisis de resultados.</i>	34
3.4.	Pruebas de campo.	35
3.4.1.	<i>Datos del vehículo.</i>	35
3.4.2.	<i>Condiciones ambientales.</i>	35
3.4.3.	<i>Ruta.</i>	36
3.4.4.	<i>Resultados.</i>	36
3.5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
3.5.1.	<i>Conclusiones.</i>	38
3.5.2.	<i>Recomendaciones.</i>	39
BIBLIOGRAFÍA.		1
ANEXOS		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 1-1: Normativa que deben cumplir las redes de comunicación en los vehículos. ..	9
Tabla 2-2: Costo individual y total del equipo adquirido de National Instruments.....	14
Tabla 3-2: CAN INTERFACE, BAUD RATE, Transport protocol, Transmit ID, .....	17
Tabla 4-3: Indicadores estadísticos entre Conscomb - AE .....	26
Tabla 5-3: Indicadores estadísticos entre $\eta v$ -RPM.....	29
Tabla 6-3: Indicadores estadístico para Vel, r, RPM, MAF, Km .....	31
Tabla 7-3: Los mejores predictores estadísticos para el consumo de combustible. ....	31
Tabla 8-3: Indicadores estadísticos entre Vel, RPM, MAF, Km.....	33
Tabla 9-3: Indicadores estadísticos sobre RPM, MAF. ....	33
Tabla 10-3: Datos técnicos del vehículo de prueba. ....	35
Tabla 11-3: Condiciones ambientales del lugar de la realización de pruebas. ....	35

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1-1: Ubicación de las centrales de control electrónico de un vehículo. ....	6
Figura 2-1: Diagrama de conexión Bus Can.....	7
Figura 3-1: Conector Bus CAN .....	8
Figura 4-2: DAQ SYSTEMS .....	11
Figura 5-2: NI 9862 .....	12
Figura 6-2: cDAQ-9171.....	12
Figura 7-2: Cable OBDII .....	13
Figura 8-2: Comunicación de un equipo de prueba externo con la ECU .....	15
Figura 9-2: Interfaz del software. ....	16
Figura 10-2: Diagrama de bloques.....	16
Figura 11-2: Open Diagnostic.....	17
Figura 12-2: Request current powertrain. ....	17
Figura 13-2: SubVI MAF. ....	18
Figura 14-2: Algoritmo MAF. ....	18
Figura 15-2: Command to write file. ....	18
Figura 16-2: Configuración para la hoja de datos.....	19
Figura 17-2: Algoritmo A/F.....	19
Figura 18-2: Request current powertrain MAF. ....	20
Figura 19-2: Algoritmo MAF. ....	20
Figura 20-2: Request current powertrain A/F .....	21
Figura 21-2: Diagrama de bloque del consumo.....	21
Figura 22-2: Algoritmo de consumo de combustible. ....	21

Figura 23-2: Diagrama de bloque de eficiencia volumétrica.....	23
Figura 24-2: Algoritmo de eficiencia volumétrica. ....	23
Figura 25-2: Request current powertrain Avance de encendido.....	24
Figura 26-2: Algoritmo de avance de encendido.....	24
Figura 27-3: Frecuencia de la mezcla estequiométrica en relación a la prueba. ....	32
Figura 28-3: Ruta de la prueba de carretera 31km.....	36

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica	Pág.
Gráfica 1-3: Matriz entre Avance de encendido & Consumo de combustible. ....	25
Gráfica 2-3: Matriz entre RPM, MAF, $\eta v$ .....	27
Gráfica 3-3: Línea ajustada $\eta v$ –RPM .....	28
Gráfica 4-3: Ecuación de $\eta v$ – RPM.....	28
Gráfica 5-3: Matriz entre LT, Vel, Km, r, RPM, MAF .....	30
Gráfica 6-3: Frecuencia de la mezcla estequiométrica en relación a la prueba.....	32
Gráfica 6-3: Matriz entre LT, MAF, RPM .....	34
Gráfica 7-3: Dispersión entre la velocidad y los litros consumidos. ....	37
Gráfica 9-3: Dato del consumo de combustible, entre el real y el predecible.....	37
Gráfica 1-3: Dato estadístico del odómetro, entre el real y el predecible.....	38



## SIMBOLOGÍA

<b>Ne</b>	Potencia efectiva.
<b><i>gef</i></b>	Consumo específico efectivo de combustible.
<b>P</b>	Presión.
<b>V</b>	Volumen.
<b>m</b>	Masa.
<b>R</b>	Constante particular de los gases.
<b>T</b>	Temperatura.
<b><math>\eta_v</math></b>	Rendimiento volumétrico.
<b>Ma</b>	Masa de aire.
<b>Mc</b>	Masa de combustible.
<b>°C</b>	Grados Celsius.
<b>°K</b>	Grados Kelvin.
<b><i>mcomb</i></b>	Masa de combustible.
<b><i>Vcom</i></b>	Volumen de combustible.
<b><math>\rho</math></b>	Densidad.
<b><i><math>\rho_{comb}</math></i></b>	Densidad de combustible.
<b><i>Conscomb</i></b>	Consumo de combustible.
<b>p</b>	Prueba de hipótesis
<b>AE</b>	Avance de encendido
<b>Vel</b>	Velocidad
<b>Km</b>	Kilometro
<b>LT</b>	Litros de combustible

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>M.C.I</b>	Motores de Combustión Interna
<b>ECU</b>	Unidad de control electrónica (electronic control unit).
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto.
<b>TPS</b>	Sensor de posición de la mariposa (throttle position sensor).
<b>MAF</b>	Sensor de masa de aire (mass airflow sensor).
<b>MAP</b>	Sensor de presión absoluta (manifold air pressure).
<b>IAT</b>	Sensor de temperatura de aire de admisión (intake air temperature sensor).
<b>OBD</b>	Diagnóstico a bordo (on board diagnostics).
<b>O2</b>	Sensor de oxígeno.
<b>r</b>	Relación estequiometría.
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar.

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo A: Tabla de datos adquiridos mediante programación.**

**Anexo B: Interfaz Gráfica.**

**Anexo C: Programación lenguaje G.**

**Anexo D: Prueba de ruta.**

## RESUMEN

El avance tecnológico y la incorporación de sistemas electrónicos en automóviles se han incrementado cada vez más. Actualmente la aplicación del control electrónico lo podemos encontrar en todos los sistemas del automóvil: motor, tracción, seguridad, confort y comunicación; todos estos sistemas poseen información de suma importancia la cual es de difícil acceso y que circula hoy en día dentro de la red CAN (Control Area Network). El propósito de este trabajo es poder acceder a esta información para adquirir y analizar una base de datos en tiempo real de los principales sensores obtenidos a través de la red CAN, a su vez desarrollar un modelo de comportamiento del consumo de combustible y avance de encendido mediante las señales de los sensores y actuadores. También se proveerá a la carrera de Ingeniería Automotriz de una herramienta didáctica, que permita conocer cómo actúa una computadora automotriz. La propuesta de este trabajo es de investigación y desarrollo; se investigó la manera de cómo acceder a la información que circula en la red CAN, esto se pudo lograr mediante la adquisición de un equipo desarrollado por National Instruments, también se desarrolló una programación en LabVIEW que nos permite la interacción entre el equipo de National Instruments y la red CAN, de esta manera se puede extraer los datos en tiempo real y visualizar el comportamiento de los principales sensores, avance de encendido, eficiencia volumétrica y consumo de combustible; esta información puede servir como parámetros para la programación de computadoras automotrices. En base a las pruebas desarrolladas en el vehículo designado, se presentan las gráficas de los datos obtenidos del consumo de combustible, avance de encendido, eficiencia volumétrica. Se concluye que este trabajo investigativo es confiable y aplicable a otro tipo de vehículos de M.C.I a gasolina teniendo consideraciones a modificar ciertos parámetros.

**PALABRAS CLAVES:** <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICA (ECU)>, <CONTROL AREA NETWORK (CAN)>, <PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN>, <SENSORES>, <CONSUMO DE COMBUSTIBLE>, <AVANCE DE ENCENDIDO>, <EFICIENCIA VOLUMETRICA>.

## **ABSTRACT**

The technological advance and the incorporation of electronic systems in automobiles have increased more and more. Currently the application of electronic control can be found in all automotive systems: engine, traction, safety, comfort and communication; all these systems have information of great importance which is difficult to access and which circulates today within the CAN network (Control Area Network). The purpose of this work is to access this information to acquire and analyze a database in real time of the main sensors obtained through the CAN network, at the same time to develop a model of behavior of fuel consumption and ignition advance through the signals of the sensors and actuators. Also, the Automotive Engineering career will be provided with a didactic tool that will allow to know how an automotive computer works. The proposal of this work is research and development; the way of how to access the information circulating in the CAN network was investigated, this could be achieved through the acquisition of a team developed by National Instruments, a program was also developed in LabVIEW that allows us to interact with the National Instruments team and the CAN network, in this way the data can be extracted in real time and visualize the behavior of the main sensors, ignition advance, volumetric efficiency and the characterization of the fuel consumption; this information can serve as parameters for the programming of automotive computers. Based on the tests developed in the designated vehicle, the graphs of the data obtained from fuel consumption, ignition advance, and volumetric efficiency are presented. It is concluded that this research work is reliable and applicable to other types of gasoline M.C.I vehicles with considering the modification of certain parameters.

**KEY WORDS:** <ENGINEERING TECHNOLOGIES AND SCIENCES>, <ELECTRONIC CONTROL UNIT (ECU)>, <CONTROL AREA NETWORK (CAN)>, <COMMUNICATION PROTOCOLS>, <SENSORS>, <FUEL CONSUMPTION>, <PROGRESS IGNITION>, < VOLUMETRIC EFFICIENCY>.

## INTRODUCCIÓN

De ante mano se sabe que el desarrollo de los sistemas automotrices, fueron el resultado de grandes ingenios de personas, las cuales pertenecían a países avanzados, hoy en día gracias a la globalización de los mercados, se ha llevado a que esta actividad de desarrolle a nivel mundial ya sea en ensambladoras, talleres, fábricas de vehículos, entro otros.

Hoy en día los diversos automóviles vienen equipados con una gran cantidad de componentes y unidades de control electrónico, los cuales trabajan de forma precisa gracias al intercambio permanente de datos e información para cumplir sus funciones de manera eficiente; por ello, la importancia de la presente investigación, la cual se enfocara en el desarrollo de una herramienta didáctica que permita caracterizar el consumo de combustible empleando la señal de los sensores con los que trabaja un motor de combustión interna en la red CAN.

Al verse involucrada la red CAN, también se realiza el estudio sobre: los protocolos de comunicación del automóvil, la manera de poder ingresar a la red CAN a través de un computadora portátil, como poder acceder a la información y a los datos que circulan dentro del automóvil, bajo que medio se puede visualizar la información extraída y cuáles son los parámetros de comportamiento de los distintos sensores, todo este estudio con el fin de ayudar a transferir conocimientos.

La parte fundamental son los sistemas de diagnóstico, pues estos son un medio de comunicación entre la unidad de control y las herramientas de escaneo, que facilitan la detección de averías, además resulta de mucha ayuda cuando se requiere reparar sistemas automotrices modernos.

Este trabajo de investigación tiene como finalidad, proporcionar bases que permitan conocer la caracterización del consumo de combustible, eficiencia volumétrica, avance de encendido y la existencia de la correlación entre los distintos sensores y los parámetros anteriormente mencionados, los cuales ayudan a que el vehículo pueda cumplir con su función.

## **CAPÍTULO I**

### **1. MARCO REFERENCIAL.**

#### **1.1. Antecedentes.**

La misión de la carrera de ingeniería automotriz de la ESPOCH, es formar profesionales en Ingeniería Automotriz competentes, emprendedores e investigadores que contribuyan al desarrollo sustentable del país preservando el medio ambiente y contribuyendo a la construcción de la sociedad del buen vivir.

Es así que el presente estudio se apega a la investigación y el desarrollo tecnológico. Las computadoras automotrices (ECU) surgieron como una necesidad de los constructores para controlar y llevar al mínimo permitido, las emisiones de gases contaminantes que emiten los vehículos a causa de nuevas legislaciones al respecto sobre todo en Norteamérica.

El control preciso del funcionamiento de los motores llevó a los fabricantes a crear sistemas de autodiagnóstico que mediante sensores y actuadores llevan al motor, en caso de salirse de los parámetros preestablecidos, a corregir la falla hasta lograr el óptimo rendimiento mejorando el funcionamiento de sus partes (Donado Cantillo, 2014).

En los últimos años ha existido un significativo incremento de la electrónica de los sistemas de automoción y la tendencia es creciente, lo que permite a los fabricantes introducir avances en la seguridad, fiabilidad y confort.

Las nuevas aplicaciones en este sector demandan ECU s o módulos de control más complejas y con necesidades de comunicación entre estos. El bus CAN ha sido y es un gran éxito tanto a nivel de automoción como a nivel de industria. Cientos de millones de ECU s de diferentes sectores usan el protocolo, lo que lo ha hecho seguro, estable, estudiado y debido al gran volumen de producción, que abarata costos (Fernandez Palomeque, 2014).

Toda computadora automotriz ECU contiene instalado un “firmware” en su memoria, este es el programa encargado de dar instrucciones a los actuadores electrónicos del motor para

buscar las mejores condiciones de operación de acuerdo a la información recibida por los sensores, es decir que el sistema de emisiones está sujeto a la mejor configuración o “firmware” instalada en la ECU para tal fin.

El firmware instalado en la ECU puede ser reemplazado por versiones actualizadas con el fin de optimizar las condiciones electrónicas del motor, mejorando a su vez el desempeño y las emisiones del motor (Auto Avance, 2013).

En la actualidad muchos técnicos aún no están familiarizados con estos conceptos, ya que no existen los parámetros suficientes para poder realizar la correcta programación de ECUs; es aquí en donde nuestra investigación interviene, ya que proporcionaremos dichos parámetros como la caracterización del consumo de combustible, avance de encendido, entre otros, que ayudaran a visualizar el accionar de una computadora automotriz.

## **1.2. Planteamiento del problema.**

En la carrera de ingeniería automotriz cuando se quiere realizar la programación de una computadora automotriz, no se tiene los parámetros de referencia para establecer las condiciones de trabajo del vehículo; es por eso que se presenta la necesidad de acceder a la red CAN BUS para adquirir datos decimales reales del vehículo y poder establecer parámetros de referencia que me ayuden a la programación de computadoras automotrices.

Ya que la red CAN es la que posee la mayor cantidad de información del vehículo y está a su vez me permite ejecutar los protocolos de diagnóstico, a través de un equipo se accederá a la red CAN y se extraerá la mayor cantidad de datos para realizar un modelo matemático que me permita vincular los sensores con los actuadores.

## **1.3. Justificación.**

El avance tecnológico en los automóviles ha logrado que estos hayan incrementado en sus prestaciones, entregando mayor seguridad, confort y mejorando los sistemas anticontaminantes lo que lleva a la utilización de diferentes módulos para poder controlar de mejor manera dichos sistemas.



Cada uno de estos módulos utiliza la información de sensores, para poder realizar la operación ordenada de sus funciones, la cual es ejecutada por los diversos actuadores que se encuentran en el automóvil, y a la vez poseen integrado un método de comunicación de diagnóstico de dichos módulos.

La gestión electrónica permite extraer más rendimiento de los motores de combustión interna, así como reducir los contaminantes productos de dicha combustión. Por este motivo, en la actualidad los vehículos realizan la gestión de su motor mediante componentes electrónicos que les permiten ser más competitivos y les ayudan a cumplir la legislación vigente en materia de contaminación.

Los Protocolos de Comunicación son los que permiten transmitir datos dentro del vehículo. Los tres protocolos más comunes usados en un vehículo son LIN, CAN y FlexRay. De estos tres solamente CAN es usado para ejecutar Protocolos de Diagnóstico sobre él, los demás simplemente llevan información internamente dentro del vehículo.

CAN se puede considerar como el protocolo “principal” del vehículo. Sobre este protocolo suele correr información sencilla desde saber si la puerta está abierta, hasta información importante como el Flujo de Aire Másico (Vázquez, 2015).

Saber las direcciones en donde se encuentra la información específica (por ejemplo, para saber en que frame está la velocidad y que bytes específicos de ese frame corresponden a la velocidad) se necesitan bases de datos y esta información varía de acuerdo a la política de cada fabricante.

El trabajo de investigación planteado consiste en realizar un modelo matemático que permita acceder a esta base de datos, la cual se encuentra en la RED CAN, y mediante la información obtenida, se pueda establecer parámetros (consumo de combustible, avance de encendido y eficiencia volumétrica) para poder realizar la programación en computadoras automotrices.

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1. Objetivo general.**

Determinar un modelo de comportamiento del consumo de combustible y avance de encendido mediante las señales de los sensores y actuadores. Y proveer a la escuela de una herramienta didáctica, que permita conocer cómo actúa una computadora automotriz.

### **1.4.2. Objetivos específicos:**

- ✓ Proporcionar parámetros de comportamiento tales como avance de encendido, eficiencia volumétrica y consumo de combustible, para la programación de computadoras automotrices.
- ✓ Adquirir y analizar una base de datos de los principales sensores obtenida a través de la red CAN que permita hallar la correlación de los mismos.
- ✓ Relacionar el consumo de combustible y el avance de encendido en función del tiempo, para ver los parámetros de comportamiento.
- ✓ Encontrar la eficiencia volumétrica real en función de las RPM, mediante las señales proporcionadas por los distintos sensores y actuadores.
- ✓ Encontrar el modelo matemático mediante las señales de los sensores y actuadores adquiridas a través de la RED CAN, para validar lo real de lo teórico acerca del consumo de combustible, eficiencia volumétrica y avance de encendido.

## **1.5. Metodología.**

El presente proyecto es una propuesta de investigación y desarrollo que utilizará una metodología experimental, utilizando bibliografía moderna que permite conocer el funcionamiento de la red CAN y el comportamiento de los sensores automotrices del vehículo que intervienen en el avance de encendido y consumo de combustible, también se utilizó estudios científicos con base a la correlación entre los distintos sensores y el régimen de giro del motor.

Se obtienen parámetros de consumo bajo distintas condiciones de operación del vehículo y que permitieron determinar la programación y el modelo de predicción de consumo de combustible más confiable mediante la comparación de los datos procesados reales y la representación de las distintas gráficas, esto con el fin de validar nuestra investigación experimental.

## **1.6. MARCO TEÓRICO.**

### ***1.6.1. Protocolos de comunicación en vehículos.***

Los avances tecnológicos en la industria automotriz han llevado cada vez más a la integración de dispositivos electrónicos en los vehículos, los que resultan importantes para el diagnóstico y control de distintos elementos del vehículo. La integración de los sistemas electrónicos en el vehículo hace necesaria una comunicación robusta entre dispositivos, considerando que en la comunicación se transporta información importante para que opere correctamente el vehículo.

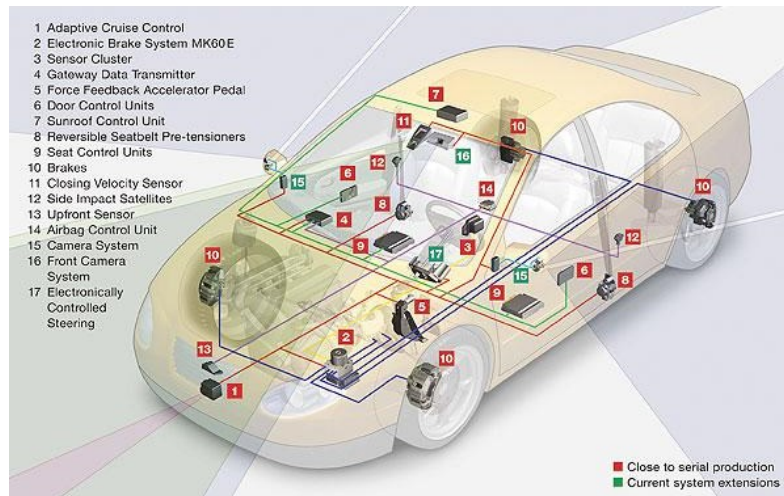
Debido a la necesidad de contar con una comunicación entre dispositivos electrónicos, sin cableado excesivo y normalizado para todo tipo de vehículos, surge el protocolo de comunicación CAN (Controller Area Network).

El protocolo CAN fue desarrollado por la compañía de Robert Bosch, para su aplicación en la industria automotriz; tiempo después fue estandarizado debido a sus diversas ventajas, tales como: la reducción del cableado; de tal forma que evita la conexión punto a punto entre dispositivos en el vehículo, lo cual aumentaría significativamente el cableado; ofrece alta inmunidad a interferencias, altas velocidades de transmisión, asignación de prioridad en los mensajes transmitidos y gran flexibilidad en la configuración del bus.

### ***1.6.2. Redes de comunicación en vehículos.***

Una red de comunicación es la interconexión entre dos o más unidades mediante conexión alámbrica o inalámbrica para el intercambio de información o transmisión de datos. Las unidades de control o centrales están compuestas de un transceptor y un controlador, encargados de convertir la señal eléctrica del bus en una señal digital y viceversa, y gestionar

la información. En la Figura 1-1 se presenta un ejemplo de la ubicación de las centrales y los sistemas de control electrónico de un vehículo.



**Figura 2-1: Ubicación de las centrales de control electrónico de un vehículo.**

Fuente: <http://www.autonews.com/article/20071029/ANA03/710290381>.

### **1.6.3. Interfaces y protocolos de comunicación.**

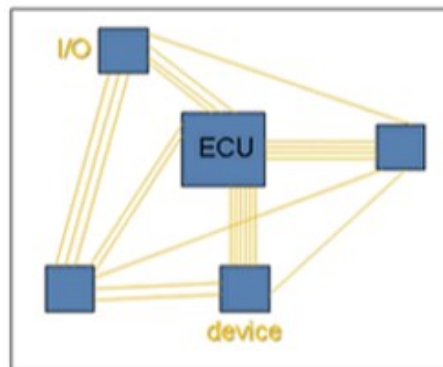
Los mensajes enviados y recibidos, los forman conjuntos de bits enlazados en serie (un bit tras otro). El bit es la unidad mínima de información empleada en cualquier dispositivo digital con él, podemos representar dos valores cualesquiera, como valores “0” y “1”. En el uso del protocolo utilizado, conocido por el emisor y el receptor, el número de bits será diferente para expresar lo mismo. Los mensajes también llamados tramas de datos, es decir un conjunto de bits, se dividen en diferentes partes, denominadas campos.

La velocidad de transmisión, la distancia entre dispositivos, el número de dispositivos conectados en el bus, y el costo de implementación, entre otras. A lo largo del tiempo se han desarrollado distintos interfaces de comunicación, y entre los principales se encuentran los siguientes:

- SPI (Serial Peripheral Interface): Interface de comunicación serial.
- I2C (Inter Integrated Circuit): Interface de comunicación.
- RS232: Interface que se encarga de enviar la comunicación un bit por vez.

- Ethernet: Ethernet utiliza un formato de transmisión de datos en serie.

En la industria automotriz, los protocolos de comunicación más empleados son CAN (Controller Area Network), VAN (Vehicle area network), LIN (Local Interconnect Network) y MOST (Media Oriented Systems Transport). La incorporación del bus CAN en la actualidad reduce significativamente el número de conexiones, el espacio, la distancia de cableado y el peso del vehículo en comparación de otros protocolos de comunicación (Figura 2-1).



**Figura 5-1: Diagrama de conexión Bus Can.**

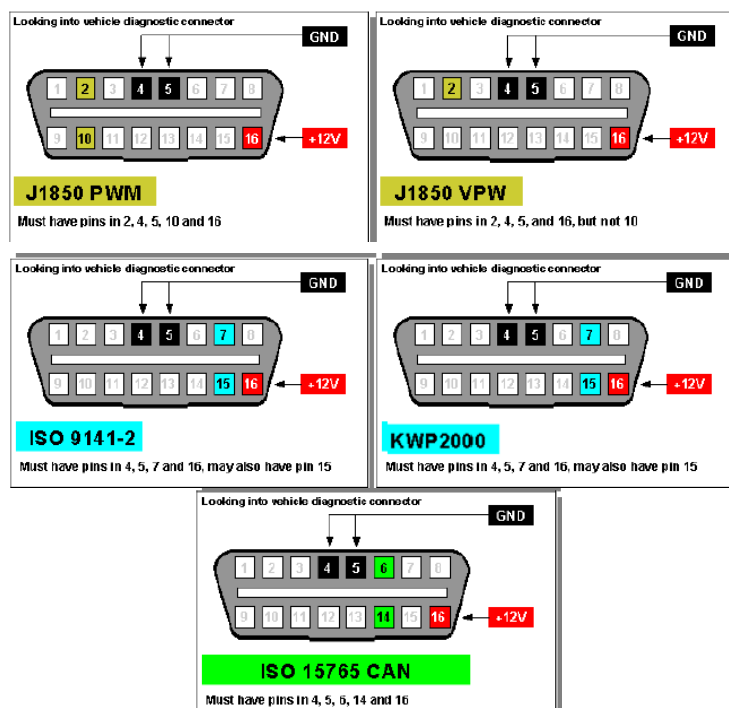
Fuente: National Instruments

Por estas ventajas, el protocolo CAN es el más utilizado y apropiado para la comunicación dentro del vehículo; y su funcionamiento ha cumplido con su demanda, a lo largo de los años. El protocolo CAN, a diferencia de otras interfaces de comunicación, fue desarrollado específicamente para el área automotriz por la compañía de Robert Boch.

Actualmente, en un mismo vehículo hay diferentes redes con distintos protocolos de comunicación. Es muy común que un vehículo cuente con una red CAN de alta velocidad para las centrales de gestión de motor, tracción y gestión de cambios; una red CAN de baja velocidad para los sistemas de confort; una red LIN para sistemas que no requieren de alta velocidad, por ejemplo el sistema de limpiaparabrisas, y en una red MOST para el multimedia (dvd, radio, teléfono, etc.) (Sánchez Vela, y otros, 2016).

#### 1.6.4. Conectores de protocolos de comunicación implementados en el vehículo.

Según el estándar OBD-II que rige en EEUU (en Europa rige el EOBD, que es similar), en los vehículos pueden usarse solamente uno de los siguientes 5 protocolos de comunicación. La ventaja es que se puede diferenciar un protocolo del otro solamente viendo los pines que están habilitados en el conector.



**Figura 8-1: Conector Bus CAN**

Fuente: National Instruments

#### 1.6.5. Normatividad de los protocolos de comunicación en los vehículos ligeros y pesados.

El OBD II es un conjunto de normalizaciones que procuran facilitar el diagnóstico de averías y disminuir el índice de emisiones de contaminantes de los vehículos. La norma OBD II está asociada a las normas como la SAE (Society of Automotive Engineers por sus siglas en inglés) e ISO (Organización Internacional de Normalización) (ISO, 2018).

En la tabla 1-1 se observa la normatividad que deben cumplir las redes de comunicación en los vehículos. En ella presentan las normas SAE para vehículos ligeros y pesados. Los

vehículos pesados se rigen por la SAE J1708, la SAE J1587 y la SAE J1939 [10], por lo que todas están indicadas por su nombre, estándar y descripción (SAE, 2016).

**Tabla 1-1: Normativa que deben cumplir las redes de comunicación en los vehículos.**

<b>Nombre</b>	<b>Estándar</b>	<b>Descripción</b>
Procedimientos de medición de compatibilidad electromagnética y los límites para componentes de vehículos, embarcaciones (hasta 15 m), y maquinaria (excepto motores de aviones) (16.6 Hz a 18 GHz)	J1113	Esta norma indica el procedimiento de medida de voltaje de la compatibilidad electromagnética de los componentes del automóvil (audio, radiofrecuencia y emisiones conducidas y radiadas).
Manual para la Validación de Robustez Automotrices módulos eléctricos / electrónicos	J1211	Este documento se ocupa principalmente de los módulos electrónicos / eléctricos (EEM), pero se puede adaptar fácilmente para su uso en mecatrónica, sensores, actuadores y conmutadores.
Glosario de redes de vehículos para la multiplexación de datos y comunicaciones.	J1213	Este documento abarca los términos generales y las definiciones correspondientes que apoyan el diseño, desarrollo, implementación, prueba y aplicación de redes de vehículos.
Procedimientos de susceptibilidad electromagnéticas para el modo común de inyección (1400 MHz), prueba de módulos	J1547	Este documento establece un método para determinar el nivel relativo de susceptibilidad de los módulos electrónicos para medir la compatibilidad electromagnética en módulos de inyección.
Intercambio electrónico de datos entre sistemas de microcomputadoras en aplicaciones de servicio pesado de vehículos	J1587	Detalla las aplicaciones de intercambio de datos entre microcomputadoras instaladas en los vehículos pesados. Esto incluye toda la información relacionada con el funcionamiento del vehículo y sus componentes (tales como el rendimiento, mantenimiento, y los datos de diagnóstico).

**Tabla 2-1 (continua): Normativa que deben cumplir las redes de comunicación en los vehículos.**

Casos de prueba del cumplimiento del vehículo OBD II	J1699	El propósito principal de esta práctica recomendada es verificar que los vehículos sean capaces de comunicar un subconjunto mínimo de información, de acuerdo con los servicios de pruebas de diagnóstico especificados en SAE J1979: E / E de diagnóstico modos de prueba
Comunicaciones serie de datos entre sistemas de microcomputadoras en aplicaciones de servicio pesado de vehículos.	J1708	Este documento define los parámetros del enlace serie que se refieren principalmente a la compatibilidad de hardware y software de base, tales como requisitos de la interfaz, el protocolo del sistema y formato de los mensajes. Los datos reales son transmitidos por determinados módulos (SAE, 2016).

**Fuente:** Autor.

**Realizada por:** Walter Ramírez & Wilmer Carrión, 2018



## CAPÍTULO II

### 2. Marco metodológico.

#### 2.1. Adquisición del Hardware y desarrollo del Software.

Para determinar el modelo del consumo de combustible, se ha procedido a realizar la siguiente secuencia de procedimientos, los cuales nos ayudaran a acceder a la RED CAN.

##### 2.1.1. *Adquisición del equipo de National Instruments.*

Una de las herramientas imprescindibles que se necesita para el desarrollo de la presente investigación, es la adquisición del equipo de National Instruments. Este hardware permitirá la comunicación entre la ECU del vehículo y una PC normal que tenga instalados los debidos LabVIEW 2015 32 bits y sus respectivos complementos NI.

A continuación, se muestra el hardware NI 9862 + cDAQ 9171 armado y en la parte de abajo las especificaciones de los equipos, más el cable CAN OBD-II.



**Figura 11-2: DAQ SYSTEMS**

Fuente: National Instrumentes.

#### NI 9862

El NI USB-9862 es una interfaz de red de controladores de área (CAN) de alta velocidad de 1 puerto para desarrollar aplicaciones CAN en NI LabVIEW, NI LabWindows/CVI y ANSI C/C++. Como parte de la plataforma NI-XNET, el USB-9862 funciona bien para

aplicaciones que requieren manipulación de alta velocidad de cientos de marcos y señales CAN. Especificaciones:

- **Número de Puertos CAN:** 1 puerto de alta velocidad (hasta 1 Mb/s) con transceptor TJA1041 interno de alimentación externa.
- **Capa Física CAN:** Alta Velocidad, Razón de Datos Flexible.



**Figura 12-2: NI 9862**

**Fuente:** National Instruments.

### *cDAQ 9171*

El NI cDAQ-9171 es un chasis USB NI CompactDAQ de 1 ranura energizado por bus, diseñado para sistemas pequeños y portátiles de medidas de sensor.



**Figura 13-2: cDAQ-9171.**

**Fuente:** National Instruments.

### *Cable CAN OBD-II*

El cable CAN a OBD-II conecta cualquier interfaz CAN de alta velocidad a un vehículo compatible con OBD-II que tiene CAN de alta velocidad en su conector de enlace de diagnóstico ubicado en el compartimento del pasajero. Este cable de alta calidad moldeado por inyección conecta los cables CAN desde el conector SAE J1962 al cableado estándar de conector D-Sub CiA-DS-102 usado por interfaces NI CAN. El cable NI CAN OBD-II no tiene terminación CAN integrada como se especifica en los estándares de diagnóstico CAN.

Este cable no es inteligente; se requiere una interfaz CAN de alta velocidad para conectar el vehículo a una PC. Las regulaciones OBD requieren el uso de CAN de alta velocidad para diagnósticos, así que se requiere una interfaz CAN de alta velocidad para comunicar con vehículos. Las características del cable son:

- D-Sub hembra de 9 pines sin terminación a cable macho OBD SAE J1962, 2m Compatible con todas las interfaces CAN de alta velocidad NI PCI, PXI, USB, PCMCIA y CompactRIO.
- Impedancia del cable: 120  $\Omega$ , resistencia: 93  $\Omega$ /km a 20 °C, retraso: 5 ns/m.
- Dos pares cruzados de 24 AWG sin protección: uno para CAN\_H y CAN\_L y uno para V+ y V-.



**Figura 14-2: Cable OBDII**

**Fuente:** National Instruments.

### *Oferta económica.*

A continuación, se presenta el costo por la adquisición del producto, más el valor de la capacitación sobre el modo de uso del equipo.

**Tabla 3-2: Costo individual y total del equipo adquirido de National Instruments.**

TOTALIZADOR DE OFERTA				
Ítem	Descripción	P.U.	Cant.	P.T.
1	NI 9862, C Series, CAN Interface, High-Speed/FD, 1 Port	1.555,03	1	1.555,03
2	cDAQ-9171, CompactDAQ Chassis (1 slot USB)	600,81	1	600,81
3	SAEJ1962M-DE9M CAN OBD-II Cable, SAE J1962 to Dsub 9-pos F, 2m	142,39	1	142,39
4	Servicio de Capacitación de manejo de Hardware Adquirido  (1 hora) y entrega de código fuente para comunicación CAN OBD II con LabVIEW	40,00	1	40,00
		Subtotal		2.338,23
		IVA	12%	280,59
		Total		2.618,82

**Fuente:** Nationals Instruments.

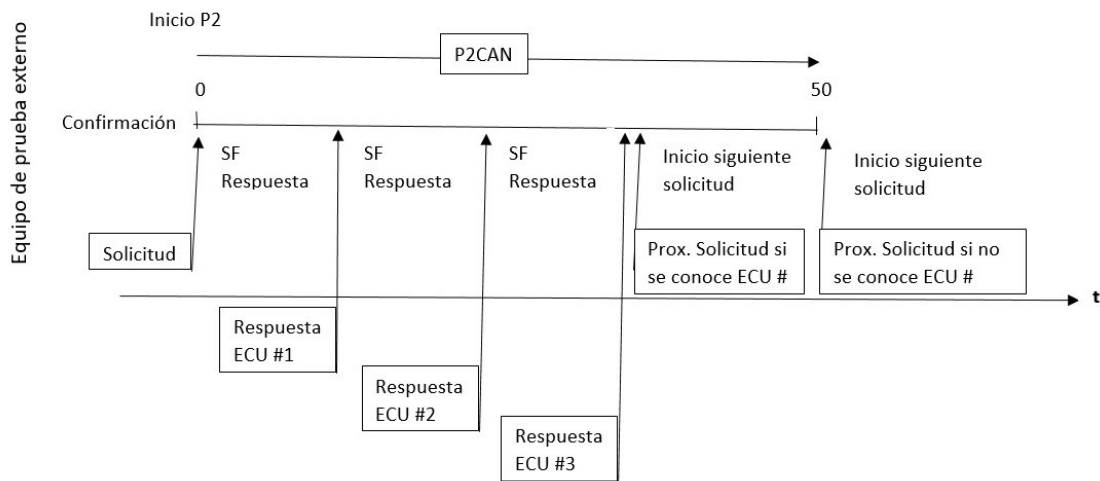
**Realizado por:** Ing. Nathaly Carrión R, 2018.

## **2.1.2 Obtención de datos mediante el equipo de National Instruments.**

### **2.1.1.1. Comunicación con la ECU.**

En la figura 2-2, se aprecia la forma de comunicación entre un equipo de pruebas externo y la computadora automotriz. El desarrollo de la comunicación se lo realiza mediante la solicitud por parte del equipo externo, el cual envía un ID 7E0 establecido por la SAE J1979

y se espera que la ECU responder con un ID 7E8, Estos códigos son transmitidos en lenguaje hexadecimal; el tiempo esperado para la comunicación varía de 50 a 4000 ms.



**Figura 15-2: Comunicación de un equipo de prueba externo con la ECU**  
Fuente: Autor.

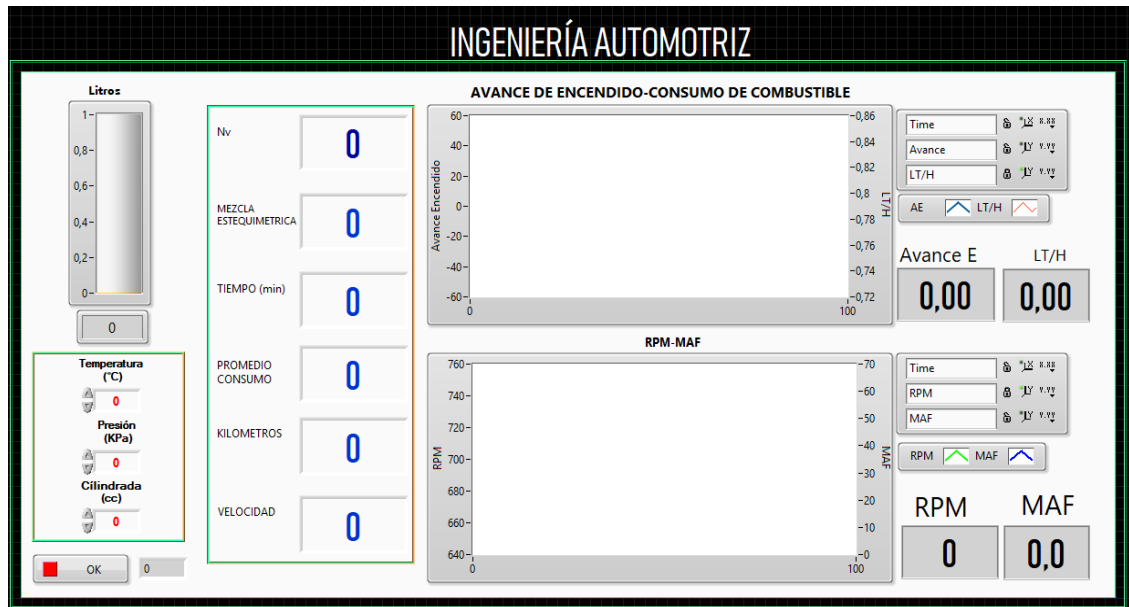
#### 2.1.1.2. Acceso al servicio 01.

El propósito de este servicio permite acceder a los actuales valores del tren de potencia, dependiendo de la marca y modelo del vehículo puede contener información tan importante como la del flujo másico, incluyendo E/S analógicas, E/S digitales y un estado de información del sistema.

La solicitud para esta información es mediante un parámetro de identificación (PID), las ECUs responderán a este mensaje mediante la transmisión de datos determinados por el sistema, todos estos valores vendrán de la lectura de los sensores. La información de datos adquirida está contenida en el Anexo A.

### 2.1.3 Programación en LabVIEW.

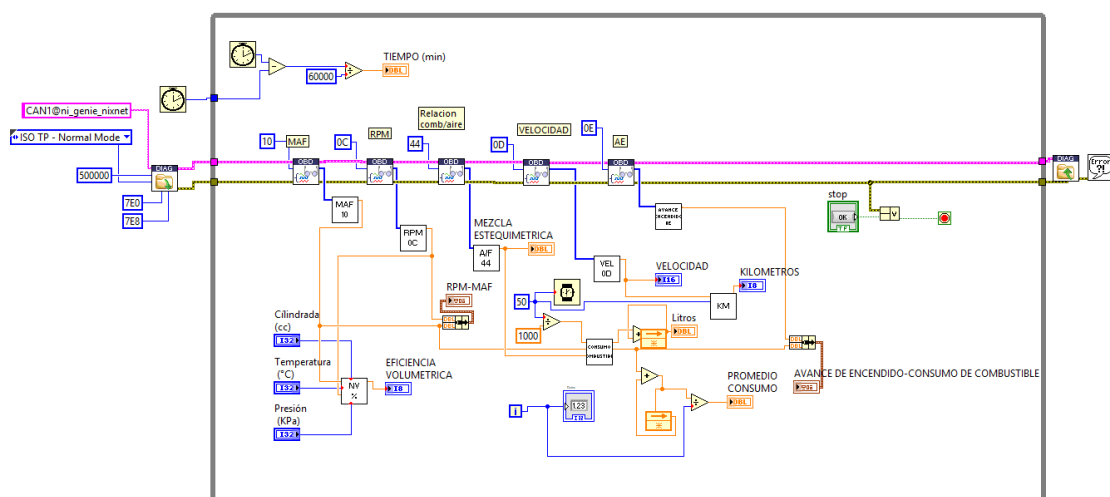
#### 2.1.3.1 Interfaz.



**Figura 16-2: Interfaz del software.**

Fuente: Autor.

#### 2.1.3.2 Diagrama de bloque.

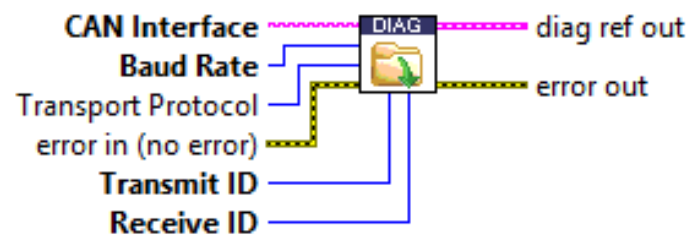


**Figura 19-2: Diagrama de bloques.**

Fuente: Autor.

**Nota:** Para una mejor apreciación de las imágenes (9-2) y (10-2), son ampliadas en el Anexo B y C respectivamente.

**Open Diagnostic:** Este Sistema nos permite iniciar la sesión de diagnóstico.



**Figura 22-2: Open Diagnostic.**  
Fuente: ADCS.

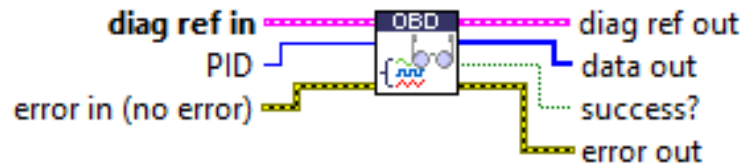
La siguiente table nos muestra las condiciones para poder abrir e iniciar la comunicación entre la DAQ NI 9182 y la ECU del automotor.

**Tabla 4-2: CAN INTERFACE, BAUD RATE, Transport protocol, Transmit ID, Receive ID.**

CAN INTERFACE	<a href="mailto:CAN1@ni_genie_nixnet">CAN1@ni_genie_nixnet</a>
BAUD RATE	5000000
Transport protocol	ISO TP-Normal Mode
Transmit ID	7E0
Receive ID	7E8

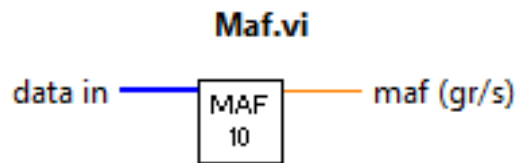
Fuente: Autor.  
Realizado por: Wilmer C. & Walter R., 2019.

**SERVICE \$01:** Este VI ejecuta la solicitud de información actual del tren de potencia mediante el PID y responde in ‘data out’ como un byte array.



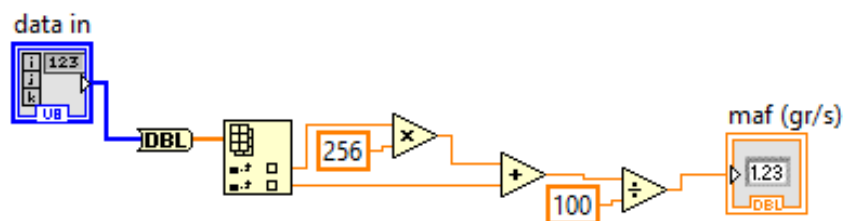
**Figura 25-2: Request current powertrain.**  
Fuente: ADCS.

- **SubVI:** Estos SubVI permiten escalar la información solicitada a datos decimales correspondiente de cada PID solicitado.



**Figura 28-2: SubVI MAF.**  
Fuente: Autor.

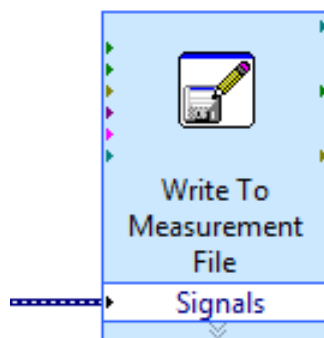
La conversión para el PID 10 (correspondiente al MAF), se logra mediante el siguiente algoritmo.



**Figura 31-2: Algoritmo MAF.**  
Fuente: Autor.

**Nota:** Para los diferentes PIDs, se utiliza el mismo algoritmo establecidos por la SAE J1979

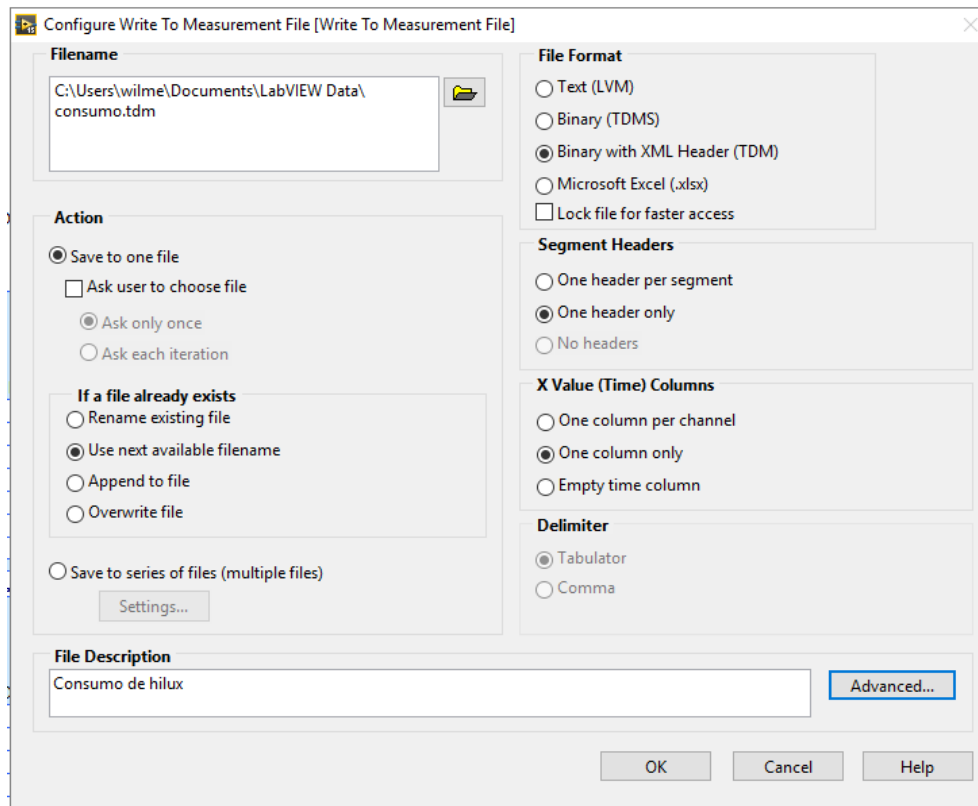
- **Enlace LABVIEW-EXCEL:** Nos permite realizar el enlace, ubicación, tipo de extensión (cvs, tdms, xslx), mediante el cual se obtiene los datos del sistema monitoreado.



**Figura 34-2: Command to write file.**  
Fuente: LabVIEW.



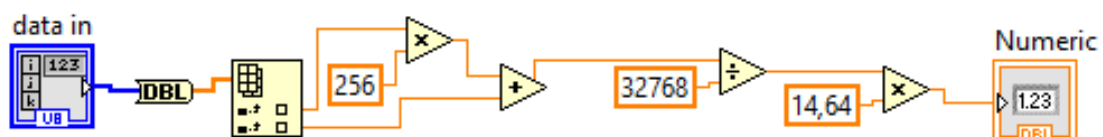
- Configuración para la obtención de los datos.



**Figura 37-2: Configuración para la hoja de datos.**  
Fuente: LabVIEW.

## 2.2. Diseño e implementación del modelo de predicción de consumo de combustible.

La masa de combustible está determinada por la relación entre la entrada del aire que es medida por el *MAF* y el valor de la mezcla estequiométrica que es dado por el sensor de *A/F*.



**Figura 40-2: Algoritmo A/F.**  
Fuente: Autor.

### 2.2.1. Lectura de señales.

#### 2.2.1.1. Señal MAF.

Diagrama de bloque.

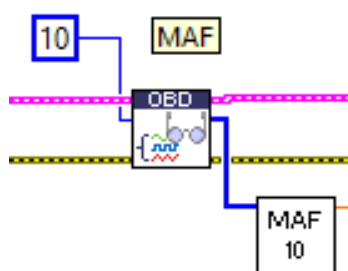


Figura 41-2: Request current powertrain MAF.

Fuente: LabVIEW.

Algoritmo.

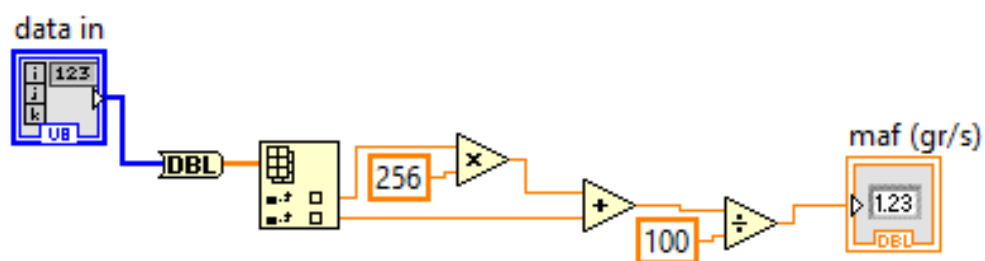
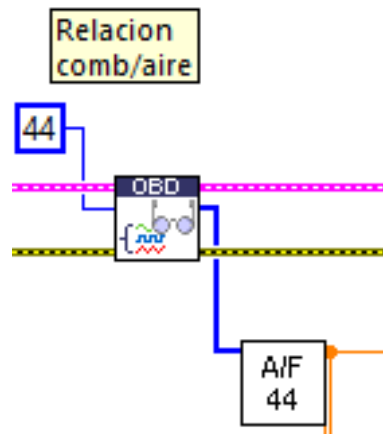


Figura 42-2: Algoritmo MAF.

Fuente: Autor.

#### 2.2.1.2. Señal A/F.

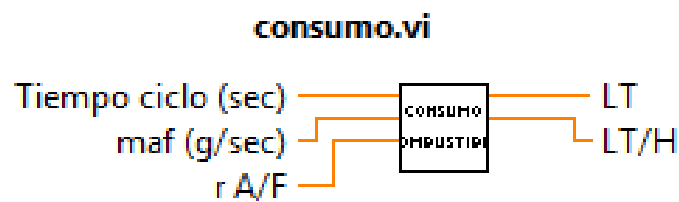
Diagrama de bloque.



**Figura 45-2: Request current powertrain A/F**  
Fuente: LabVIEW.

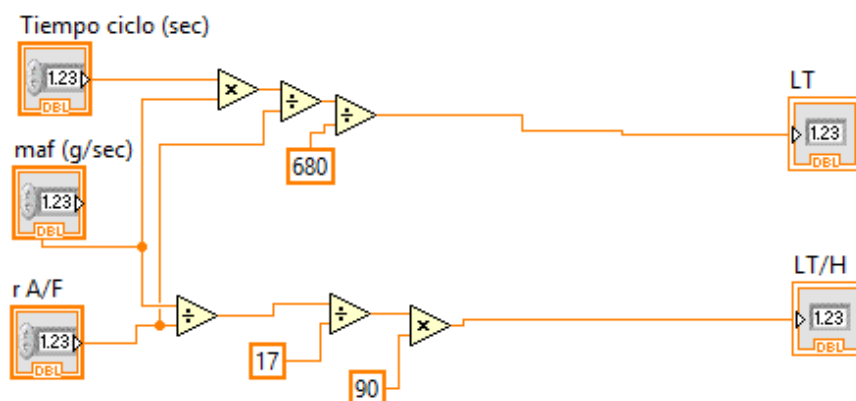
### 2.2.2. Modelado de ecuación de consumo de combustible.

**Diagrama de bloque.**



**Figura 46-2: Diagrama de bloque del consumo.**  
Fuente: Autor.

**Algoritmo.**



**Figura 49-2: Algoritmo de consumo de combustible.**  
Fuente: Autor.

### 2.3. Programación e interfaz del modelo de predicción para la eficiencia volumétrica.

Para encontrar la ecuación del rendimiento volumétrico del vehículo *TOYOTA HILUX 4X2 CD MODELO 2016*, se parte del fundamento teórico, donde:

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{real}}{\dot{m}_{ideal}} \quad (1-2)$$

$\eta_v$  = Rendimiento volumétrico.

$\dot{m}_{real}$  = Flujo másico de aire real (g/s).

$\dot{m}_{ideal}$  = Flujo másico de aire ideal (g/s).

Para encontrar el flujo másico de aire ideal, se parte de la ecuación de los gases ideales permitiendo encontrar la masa (m) de aire admitida, donde se expresa:

$$m_a = \frac{P \cdot V_p}{R \cdot T} \quad (2-2)$$

$m_a$  = Masa de aire (kg).

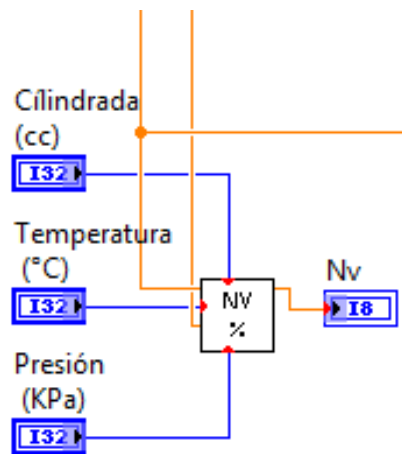
P = Presión de vacío (Kpa).

$V_p$  = Cilindrada parcial (cm<sup>3</sup>).

R = Constante particular del aire (KJ / kg \*°k).

T = Temperatura de aire de admisión (°k).

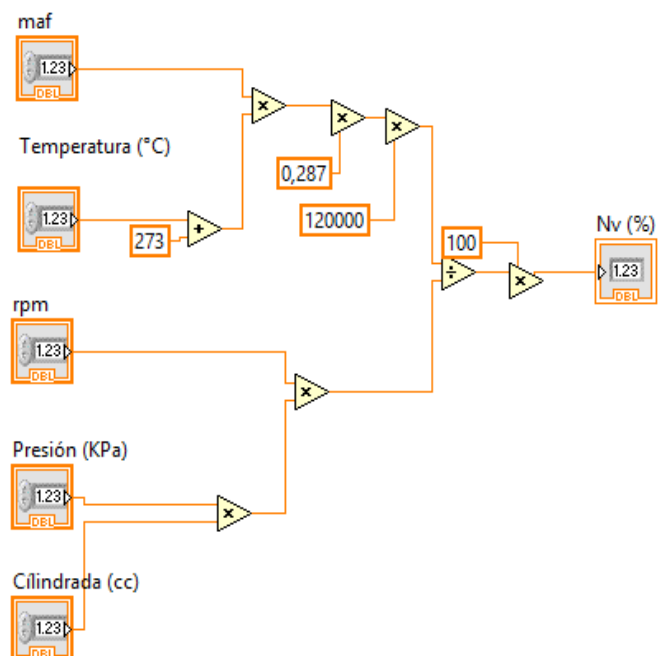
### 2.3.1. Diagrama de bloque.



**Figura 52-2: Diagrama de bloque de eficiencia volumétrica.**

Fuente: Autor.

### 2.3.2. Algoritmo.

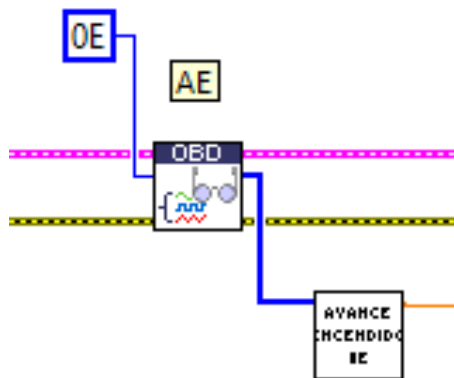


**Figura 55-2: Algoritmo de eficiencia volumétrica.**

Fuente: Autor.

## 2.4. Modelado de la ecuación de avance de encendido.

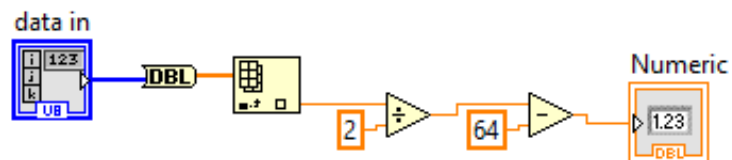
### 2.4.1. Diagrama de bloque.



**Figura 58-2: Request current powertrain  
Avance de encendido.**

Fuente: LabVIEW.

### 2.4.2. Algoritmo.



**Figura 61-2: Algoritmo de avance de encendido.**

Fuente: Autor.

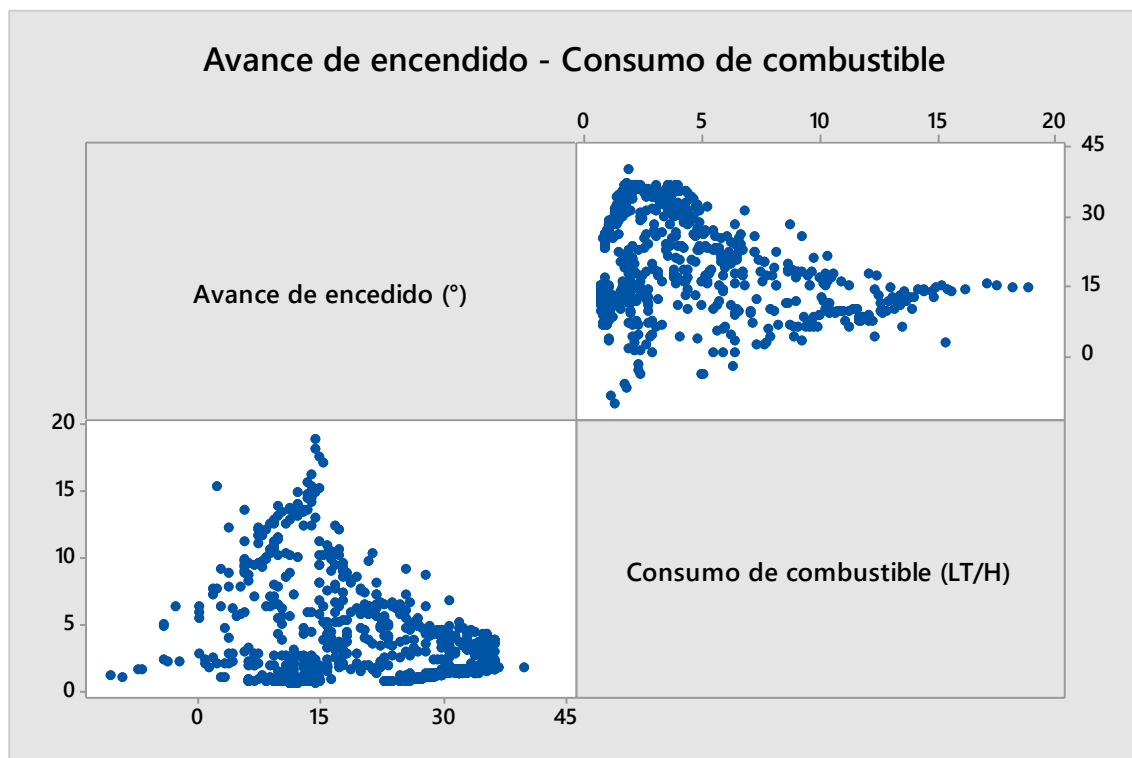
## CAPÍTULO III

### 3. Marco de resultados, discusión y análisis de resultados.

Los datos son obtenidos en una hoja de cálculo con la extensión (.tdx) a través de la programación en *LabVIEW* y utilizados para realizar el análisis estadístico y determinar la correlación entre los mismos, mediante los cuales se podemos conocer cuáles son las variables dependientes que tienen una mayor incidencia con la variable respuesta.

#### 3.1. Relación entre consumo de combustible y el avance de encendido

##### 3.1.1. Gráfica de matriz.



**Gráfica 10-3: Matriz entre Avance de encendido & Consumo de combustible.**

Fuente: Autor

### 3.1.2. Ecuación del modelo de predicción.

La gráfica indica el resulta de relación entre el consumo de combustible no tiene un patrón definido es decir el uno no depende del otro.

Dado que el valor en la prueba de hipótesis es mayor de 0,05 podemos decir que el consumo de combustible no depende significativamente del avance de encendido y la ecuación siguiente nos corrobora.

$$\text{Consumo de combustible (LT/H)} = 2,253 + 0,00427 \text{ Avance de encendido (}^\circ\text{)} \quad (3-3)$$

Con los siguientes indicadores.

**Tabla 5-3: Indicadores estadísticos entre Conscomb - AE**

R-Ajustado	Correlación	p
1,2%	0,004	0,53

Fuente: Autor

Realizado por: Wilmer C & Walter R., 2019

### 3.1.3. Análisis de resultados.

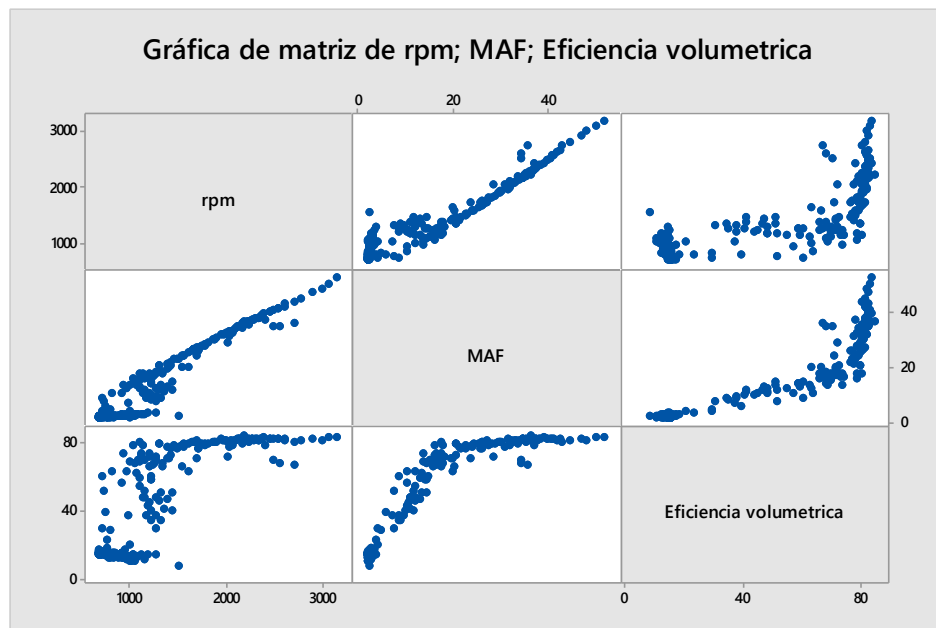
- Se determina la inexistencia de la correlación entre el avance de encendido y el consumo de combustible, dado que el valor de la prueba de hipótesis es 0,530 al ser mayor a 0,05.
- El consumo de combustible no depende del avance de encendido directamente.
- El análisis gráfico da a conocer que no hay correlación ni positiva ni negativa, es decir son variables independientes.



### 3.2. Relación entre la eficiencia volumétrica y las revoluciones del motor.

#### 3.2.1. Grafica de matriz.

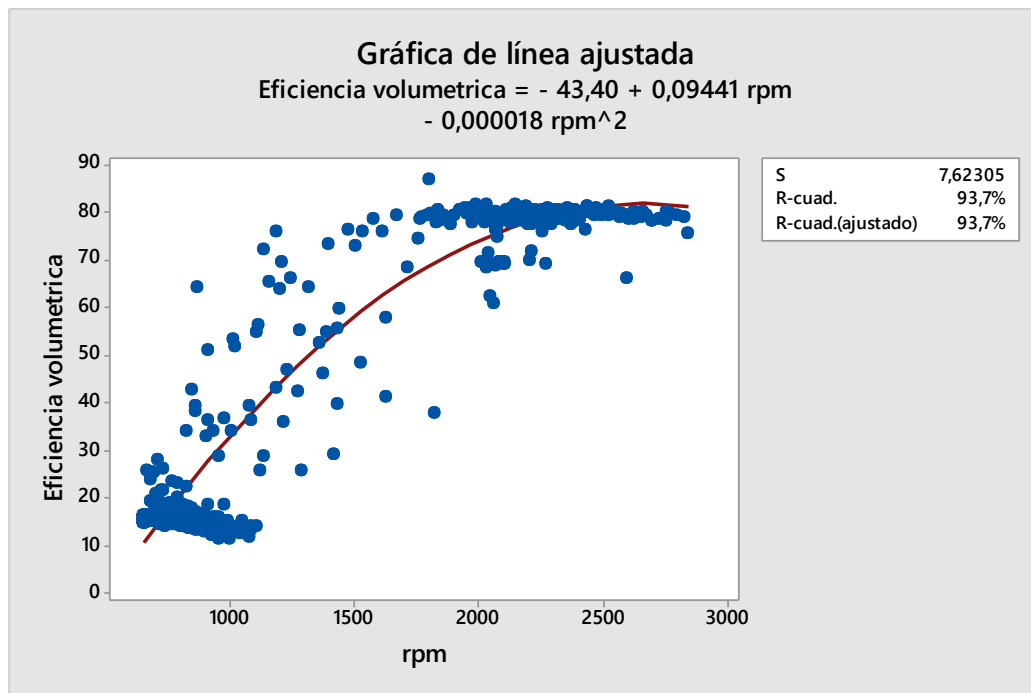
En la gráfica se puede observar que existe una relación muy significativa entre la eficiencia volumétrica con las *RPM*, para determinar de mejor manera realizamos una gráfica de línea ajusta entre la variable dependiente *RPM* y *Eficiencia volumétrica* variable respuesta.



**Gráfica 37-3: Matriz entre RPM, MAF,  $\eta_v$**

Fuente: Autor

En la gráfica de línea ajustada se determina la fuerte correlación entre la eficiencia volumétrica y las revoluciones del motor. La correlación es positiva y cuadrática.

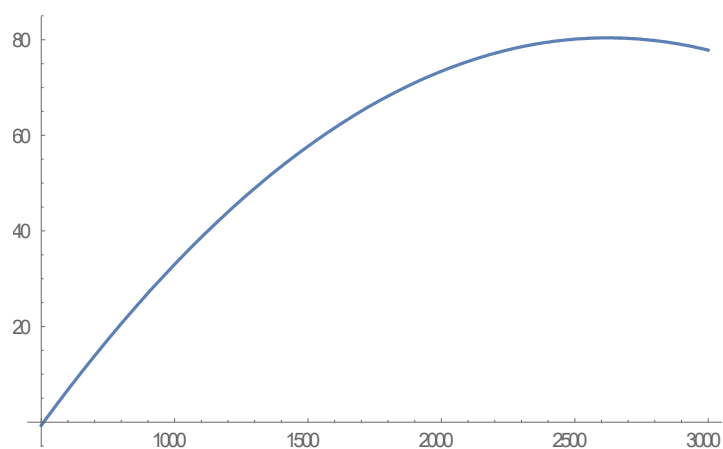


**Gráfica 64-3: Línea ajustada  $\eta_v$  –RPM**  
 Fuente: Autor

### 3.2.2. Ecuación del modelo de predicción.

La ecuación de la predicción para la eficiencia volumétrica estadísticamente está determinada por la siguiente ecuación.

$$\text{Eficiencia volumétrica} = -43,4 + 0,09441 \text{ rpm} - 0,000018 \text{ rpm}^2 \quad (4-3).$$



**Gráfica 90-3: Ecuación de  $\eta_v$  – RPM.**  
 Fuente: Autor.

Con los siguientes indicadores estadísticos.

**Tabla 6-3: Indicadores estadísticos entre  $\eta_v$  -RPM**

<b>R-Ajustado</b>	<b>Correlación</b>	<b>p</b>
93,7%	0,955	0,00

Fuente: Autor

Realizado por: Wilmer C & Walter R., 2019.

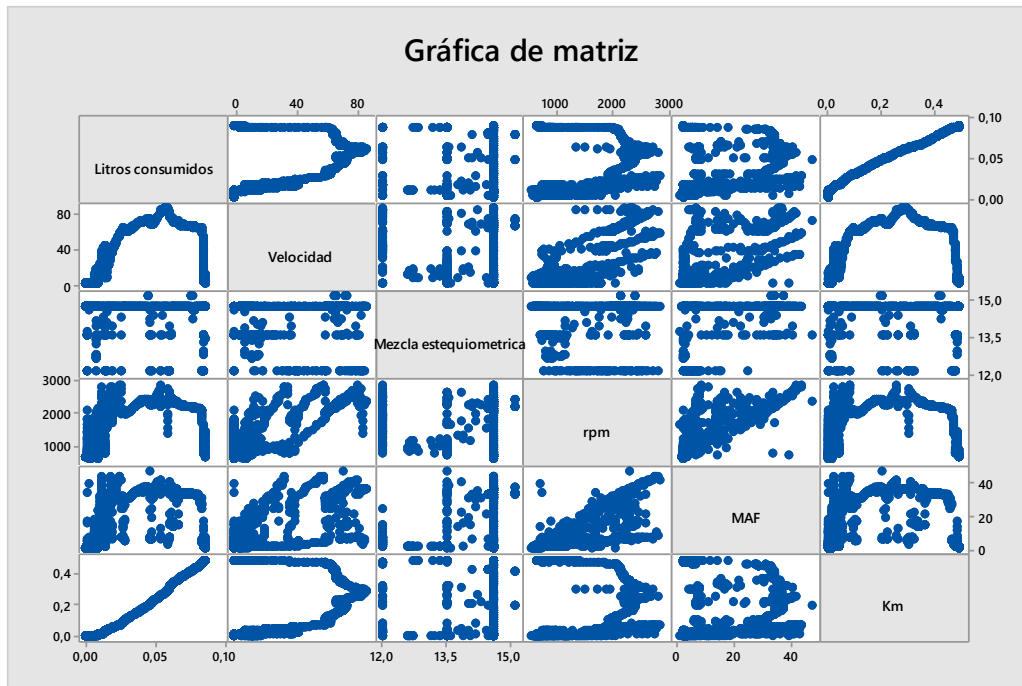
### **3.2.3.     *Análisis de resultados.***

- La prueba de hipótesis es igual a cero para la *RPM* por lo que se determina que existe los datos obtenidos son fiables entre estas dos variables.
- Existe correlación de 0,937 sobre la variable respuesta es decir que la eficiencia volumétrica se determina en un 93,7%.
- Con un *R-AJUSTADO* 93,7% el modelo de predicción es aceptable.

### **3.3.       Modelo matemático de predicción del consumo de combustible.**

El consumo de combustible teóricamente este dado por la relación entre la masa de aire sobre la mezcla estequiométrica, en la siguiente figura podemos ver el levantamiento de datos realizado por el software desarrollado en esta investigación.

### 3.3.1. Gráfica de matriz.



**Gráfica 111-3: Matriz entre LT, Vel, Km, r, RPM, MAF.**

Fuente: Autor.

En el gráfico mostrado se puede ver las diferentes correlaciones entre los sensores con el consumo de combustible, mediante el cual se hace el análisis para determinar cuáles son las variables dependientes de mayor incidencia para el consumo de combustible.

Teóricamente el consumo de combustible está basado en la siguiente fórmula.

$$Mc = \frac{Ma}{r} \quad (5-3)$$

Donde:

Mc = masa de combustible.

Ma = masa de aire.

r = mezcla estequiométrica.

Ecuación del modelo de predicción.

$$\text{Litros consumidos} = 0,00880 + 0,000058 \text{ Velocidad} - 0,000382 \text{ Mezcla estequiométrica} \\ + 0,000001 \text{ rpm} + 0,000038 \text{ MAF} + 0,161061 \text{ Km.} \quad (6-3)$$

R-Ajustado = 99,57%.

**Tabla 7-3: Indicadores estadístico para Vel, r, RPM, MAF, Km**

	<b>Correlación de Pearson</b>	<b>Prueba de hipótesis</b>
<b>Vel</b>	0,635	0,00
<b>R</b>	-0,17	0,00
<b>RPM</b>	0,523	0,00
<b>MAF</b>	0,463	0,00
<b>Km</b>	0,994	0,00

**Fuente:** Autor

**Realizado por:** Wilmer C & Walter R., 2019

Los mejores predictores para el consumo de combustible es dado por:

**Tabla 8-3: Los mejores predictores estadísticos para el consumo de combustible.**

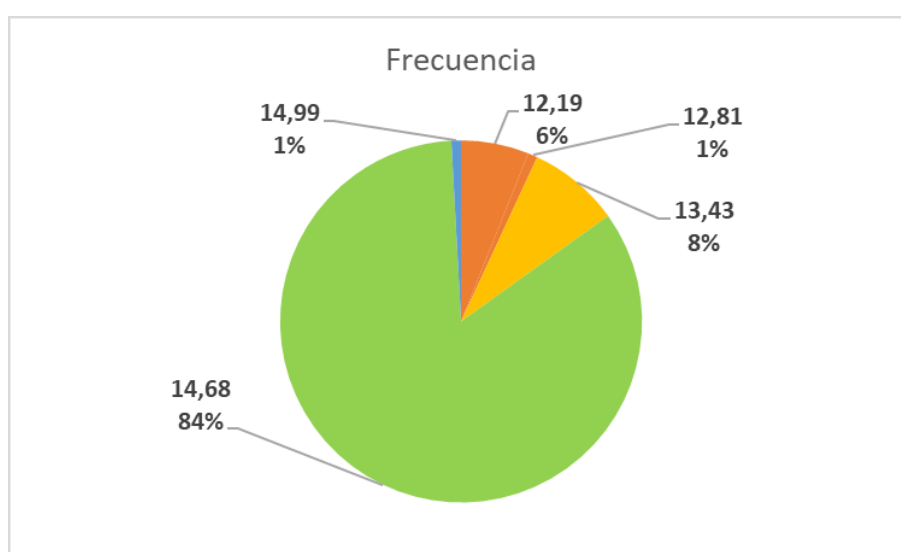
<b>R-Ajustado</b>	<b>CP-Mallows</b>	<b>Vel</b>	<b>r</b>	<b>RPM</b>	<b>MAF</b>	<b>Km</b>
98,8	2270,4					X
99,5	98,5	x				X
99,5	217,6			x		X
99,6	61,5	x			x	X

99,6	19,7	x		X	x	X
99,6	21,4	x	x	X		X
99,6	6,0	x	x	X	x	X

Fuente: Autor

Realizado por: Wilmer C & Walter R, 2019

Se determina que el predictor de menor incidencia es el de la mezcla estequiométrica para corroborar con aquello la siguiente figura nos muestra la frecuencia con la que varía en el tiempo de prueba.



**Gráfica 6-3: Frecuencia de la mezcla estequiométrica en relación a la prueba.**

Fuente: Autor.

El 84% en el tiempo de prueba alcanza a permanecer en el valor ideal para la combustión, si el modelo de predicción del consumo de combustible prescinde del valor de la mezcla estequiométrica, la ecuación del modelo sería.

$$LT = 0,003215 + 0,000063 \text{ Velocidad} + 0,000001 \text{ rpm} + 0,000019 \text{ MAF} + 0,161151 \text{ Km.}$$

(7-3)

R-Ajustado = 99,56 %.

**Tabla 9-3: Indicadores estadísticos entre Vel, RPM, MAF, Km**

	<b>Correlación de Pearson</b>	<b>Prueba de hipótesis</b>
<b>Vel</b>	0,635	0,00
<b>RPM</b>	0,523	0,00
<b>MAF</b>	0,463	0,00
<b>Km</b>	0,994	0,00

Fuente: Autor

Realizado por: Wilmer C & Walter R, 2019

Ecuación matemática para la predicción en función de la *RPM* y *MAF*

$$LT = -0,00035 + 0,000020 \text{ RPM} + 0,000098 \text{ MAF.} \quad (8-3)$$

$$R\text{-Ajustado} = 27,36 \, \%$$

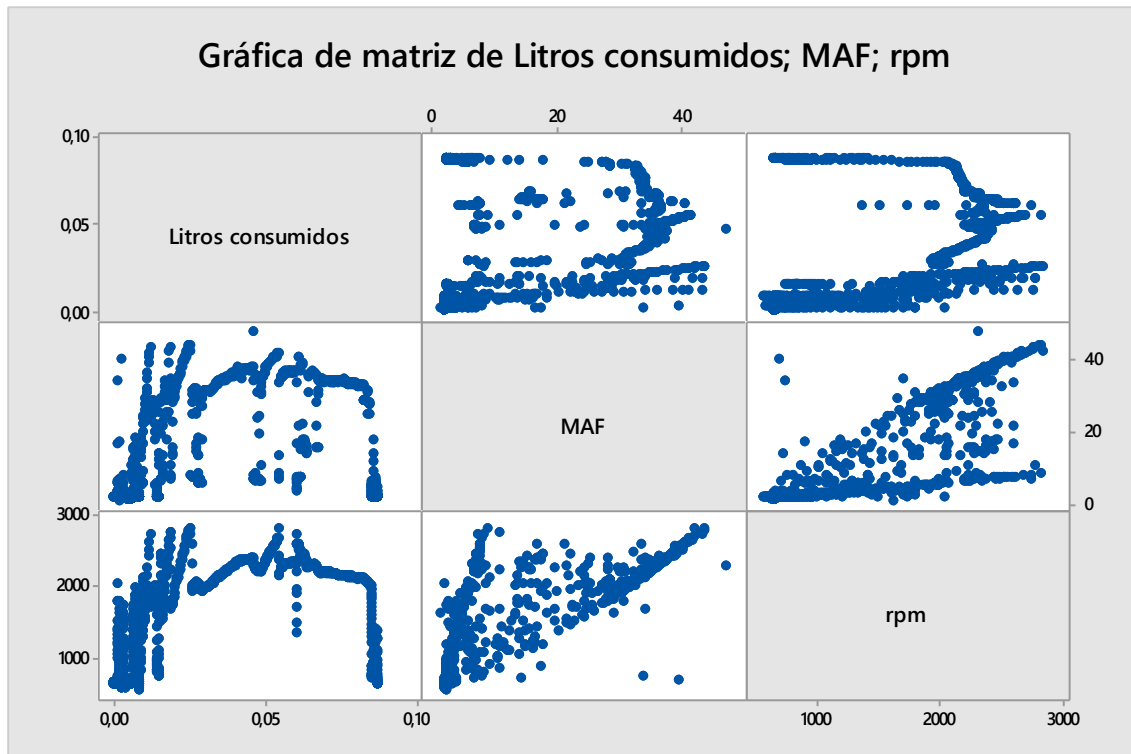
**Tabla 10-3: Indicadores estadísticos sobre RPM, MAF.**

	<b>Correlación de Pearson</b>	<b>Prueba de hipótesis</b>
<b>RPM</b>	0,523	0,00
<b>MAF</b>	0,463	0,00

Fuente: Autor

Realizado por: Wilmer C & Walter R, 2019

La gráfica de matriz nos corrobora, que no existe una relación significativa entre estas variables



**Gráfica 7-3: Matriz entre LT, MAF, RPM**

Fuente: Autor.

Se determina que la relación existente entre el consumo de combustible con las *RPM* y *MAF* es muy poco significativa dado que *R-AJUSTADO* es 27,36%

### 3.3.2. *Análisis de resultados.*

- La mezcla estequiométrica es una variable dependiente que no ejerce una influencia significativa sobre el consumo de combustible ya que permanece en un 84% en su valor ideal.
- Se determina que los mejores predictores para el consumo de combustible son la velocidad y el recorrido.
- El modelo matemático de mejor predicción es el que incluye las siguientes variables *Vel*, *Km*, *MAF*, *RPM*.



### 3.4. Pruebas de campo.

#### 3.4.1. Datos del vehículo.

**Tabla 11-3: Datos técnicos del vehículo de prueba.**

<b>Marca</b>	TOYOTA
<b>Cilindraje</b>	2700
<b>Línea de vehículo</b>	HILUX
<b>Clase</b>	Vehículo de Carga
<b>Modelo</b>	2016
<b>Motor</b>	2TR8804528
<b>Pasajeros</b>	5

Fuente: Autor

Realizado por: Wilmer C & Walter R, 2019

#### 3.4.2. Condiciones ambientales.

**Tabla 12-3: Condiciones ambientales del lugar de la realización de pruebas.**

<b>Ciudad</b>	Riobamba
<b>Altura</b>	2764 msnm
<b>Temperatura</b>	18°C
<b>Presión</b>	73 KPa
<b>Hora</b>	16:21

Fuente: Autor

Realizado por: Wilmer C & Walter R, 2019

### 3.4.3. *Ruta.*



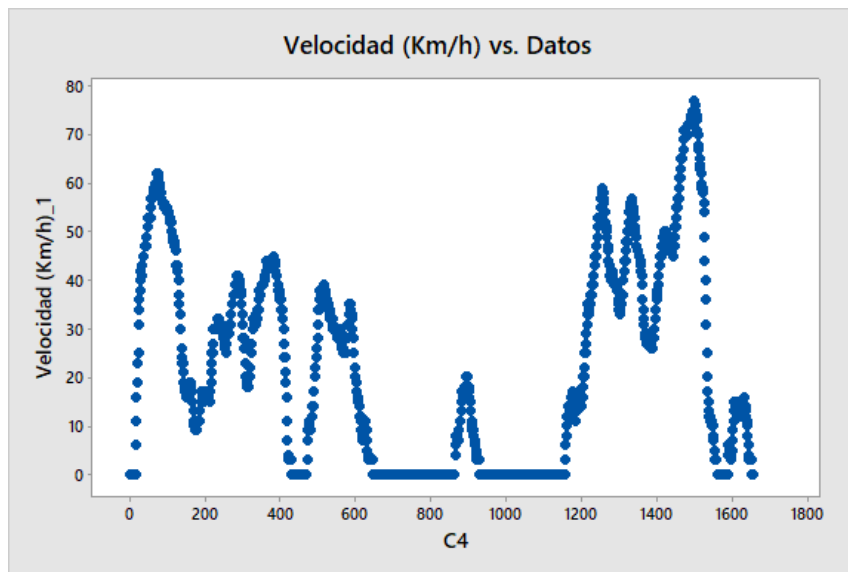
**Figura 80-3: Ruta de la prueba de carretera 31km.**

Fuente: Autor.

### 3.4.4. *Resultados.*

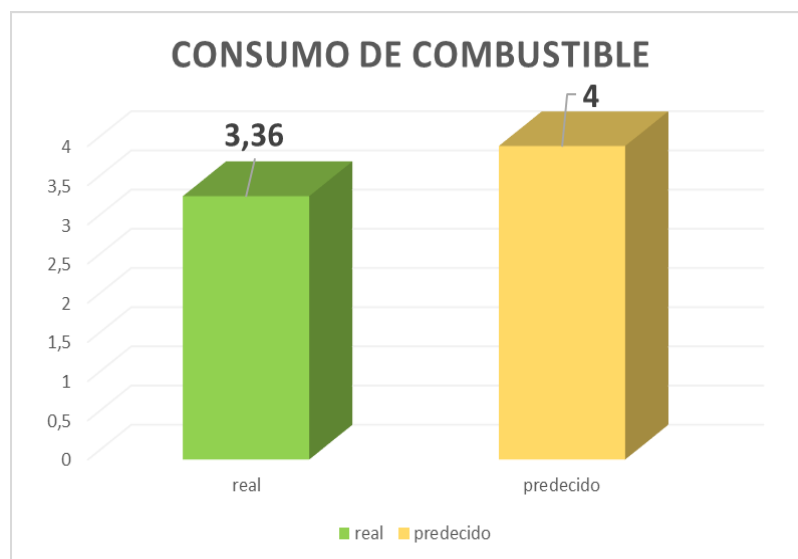
#### 3.4.4.1. *Velocidad*

La velocidad en la prueba fue variable con la finalidad, de que las condiciones en que se realiza la evaluación del software son real en un estilo de manejo normal, en carretera con ascensos y descensos.



**Gráfica 8-3: Dispersión entre la velocidad y los litros consumidos.**  
Fuente: Autor.

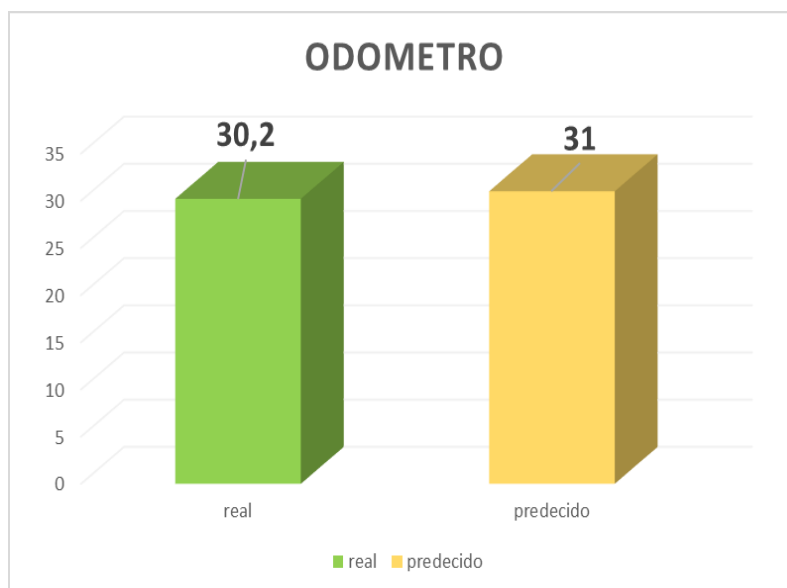
#### 3.4.4.2. Consumo.



**Gráfica 81-3: Dato del consumo de combustible, entre el real y el predecible.**  
Fuente: Autor.

El valor es aceptable de acuerdo a los indicadores estadísticos, se puede apreciar en la gráfica 9-3 que existe una diferencia entre el valor predecible y el real del 14%.

#### 3.4.4.3. *Odómetro.*



**Gráfica 82-3: Dato estadístico del odómetro, entre el real y el predecible.**

**Fuente:** Autor.

### 3.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.5.1. *Conclusiones.*

- En base a los siguientes indicadores estadísticos, Correlación de Pearson, R-Ajustado, Prueba de hipótesis, Coeficiente de Mallows, realizados en el capítulo III (sección 3.1.3). Se afirma la inexistencia, es decir que no existe una influencia entre el avance de encendido sobre el consumo de combustible; lo que nos permite afirmar la nula correlación entre los mismos.
- Se determina la alta correlación a través de los indicadores estadísticos, entre la eficiencia volumétrica (variable respuesta) y las Revoluciones por Minuto (variable dependiente), la misma que puede ser predecida mediante la ecuación (4-3). Dándonos una fiabilidad de un R-Ajustado 93,7 %; asegurando que existe la influencia de las RPM sobre la Eficiencia Volumétrica.

- El modelo matemático determinado en esta investigación, que mejor predice el consumo de combustible es aquel que incluye las siguientes variables *Vel*, *Km*, *MAF*, *RPM*. Obteniendo una fiabilidad del 99 %.
- La frecuencia con que la mezcla estequiométrica permanece en su valor ideal es del 84% en un estilo de conducción normal, por lo tanto se determina que no influye significativamente la relación A/F sobre el consumo de combustible.
- A través de los datos mostrados y obtenidos, en las diferentes pruebas de carretera realizados en la ciudad de Riobamba, en las condiciones ambientales detalladas en la tabla (11-3). Se valida el modelo de predicción de consumo de combustible, afirmando que la diferencia entre el consumo predicho y el real es del 14%.

### 3.5.2. *Recomendaciones.*

- Tener en cuenta las interfaces y conexiones para el diagnóstico del vehículo, el año y modelo de la unidad, ya que los diferentes fabricantes de vehículos ligeros utilizan diferentes protocolos de comunicación, a diferencia de los vehículos de alta demanda o pesados, así mismo, en cada vehículo la ubicación del conector para el diagnóstico automotriz es diferente.
- La autonomía del equipo portátil debe tener una durabilidad mayor a 1 hora, debido a que debe soportar un recorrido de 40 minutos mientras se realiza la prueba; a su vez se debe planificar con anterioridad la ruta del recorrido.
- El modelo de consumo de combustible puede ser aplicado en otros vehículos, teniendo en cuenta que deben tener la red CAN y verificar que este posea los pines 6 y 14 en el conector OBD II.
- Tener en cuenta que los PIDs emitida por la norma J1971 no se los puede encontrar en todos los vehículos, esto debido a las políticas de cada marca. Ciertos PIDs en algunos vehículos no son incorporados en la red Can, por lo que la programación para el modelo del consumo de combustible puede variar.

## BIBLIOGRAFÍA.

**Donado Cantillo, Armando.** Computadora Automotriz Causas de su Aparición y Funcionamiento: auto soporte [En línea], 13 de Marzo de 2014. [Consulta: 10 de Septiembre de 2018]. Disponible en: <http://www.autosopORTE.com/blog-automotriz/item/309-computadora-automotriz-causas-de-aparicion-funcionamiento>.

**Muñoz Cantero , Jesús Miguel.** Electronica y Servicio. RIE nº 54. Murcia - España. 2014.pp. 105-294.

**Fernandez Palomeque, Efren.** Estudio de la Red CAN y sus Diversas Evoluciones en Vehículos Convencionales e Híbridos, con el Propósito de Realizar un Diagnóstico Acertado Tomando Como Base sus Protocolos de Comunicación. [En línea] Noviembre de 2014. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/278405783\\_Estudio\\_de\\_la\\_Red\\_CAN\\_y\\_sus\\_Diversas\\_Evoluciones\\_en\\_Vehiculos\\_Convencionales\\_e\\_Hibridos\\_con\\_el\\_Proposito\\_de\\_Realizar\\_un\\_Diagnostico\\_Acertado\\_Tomando\\_Como\\_Base\\_sus\\_Protocolos\\_de\\_Comunicacion](https://www.researchgate.net/publication/278405783_Estudio_de_la_Red_CAN_y_sus_Diversas_Evoluciones_en_Vehiculos_Convencionales_e_Hibridos_con_el_Proposito_de_Realizar_un_Diagnostico_Acertado_Tomando_Como_Base_sus_Protocolos_de_Comunicacion).

**Auto Avance.** Tips para Reprogramar la ECU con J2534. [En línea] 5 de Febrero de 2013. Disponible en: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/119-tips-para-reprogramar-la-ecu-con-j2534/>.

**Fritz, Adolf.** Microelectrónica en el vehículo motorizado. Alemania : Reverte, 2002. pp. 393 - 458.

**ISO. 2018.** Standards catalogue. International Organization for Standardization (ISO). [En línea] 2018. Disponible en : <https://www.iso.org/standards-catalogue/browse-by-tc.html?co>.

**Hatch, Steve V.** *Computerized Engine Controls*. Richmond - U.S.A : Delmar Cengage Learning, 2011. pp. 111-134.

**Keith, McCord.** *Automotive Diagnostic Systems (Paperback or Softback)*. Grand Rapids (EE.UU) : Cartech, 2011. pp. 193 - 470.

**National Instruments.** Diseño y Prueba de ECU usando Productos de National Instruments. *National Instruments*. [En línea] 12 de Mayo de 2010. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/322203295/Diseno-y-Prueba-de-ECU-Usando-Productos-de-National-Instruments>.

**National Instruments.** FlexRay Automotive Communication Bus Overview.. [En línea] 24 de Agosto de 2016. Disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/3352/en/>.

**National Instruments.** Introducción a CAN. [En línea] 2 de Febrero de 2011. Disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/2732/es/#toc5>.

**Llanos López, María José.** *Sistemas eléctricos auxiliares del Vehículo*. España : Ediciones Paraninfo, 2011. pp. 232 - 349.

**SAE.** Estandarización. Society Engineer Automotriz (SAE). [En línea] 2016. Disponible en: <http://www.sae.org/>.

**Sánchez Vela, Luis Gerardo, y otros.** Revisión documental del protocolo CAN como herramienta de comunicación y aplicación en vehículos. *gob.mx*. [En línea] 2016. Disponible en: <http://imt.mx/publicacion.html>.

**Vázquez, Juan.** PROTOCOLOS EN DIAGNÓSTICO EN AUTOMÓVILES. *DataLights*. [En línea] 2015. Disponible en: [www.datalights.com.ec](http://www.datalights.com.ec).

**Zhu, YU.** *CAN and FPGA Communication Engineering: Implementation of a CAN Bus based Measurement System on an FPGA Development Kit*. Alemania : Diplomica Verlag, 2010. pp. 267 - 320.